

**CENTRAL ASIAN JOURNAL OF THEORETICAL AND APPLIED SCIENCES**

**Volume: 03 Issue: 06 | Jun 2022 ISSN: 2660-5317**

# Численный Анализ Напряженно-Деформированного Состояния Высокой Грунтовой Плотины С Учетом Данных Натурных Наблюдений

**Х. Х. Турдикулов**
(ФерПИ) Ферганский политехнический институт Фергана, Республика Узбекистан
Husanboytu7@gmail.com

**М. Қосимов**
(ФерПИ) Ферганский политехнический институт Фергана, Республика Узбекистан

*Received 19th Apr 2022, Accepted 20th May 2022, Online 18th Jun 2022*

***Аннотация:*** *Проектирование, строительство и эксплуатация грунтовых гидротехнических сооружений (грунтовых плотин) в сейсмических регионах ставит перед исследователями ряд задач по разработке и усовершенствования расчетных методик оценки их прочности при различных нагрузках. Одной из главных задач по обеспечению надежной работы грунтовой плотины при нагрузках является своевременный анализ данных натурных, визуальных наблюдений, а также контрольно-измерительной аппаратуры и устройств (КИА и У) и сверка с их критериальными значениями.*

***Ключевые слова:*** *Гидротехническое сооружение, грунтовая плотина, физико-механические характеристики грунта, сейсмичность района, напряжения, метод конечных элементов, безопасность.*

**Введение.** В работе сопоставлены результаты данных натурных наблюдений с расчетными, которые позволили совершенствовать методику и алгоритмы при составлении прогнозной математической модели состояния сооружения при основных нагрузках. Исследования проведены на примере высокой грунтовой плотины Чарвакской ГЭС в Узбекистане.

Начиная с ввода в эксплуатацию (1974г.) по сегодняшнее время в соответствии с нормами [1-6] на каменно-земляной плотине Чарвакской ГЭС проводятся систематические натурные наблюдения: за деформациями тела плотины; поровым давлением в ядре; напряжениями в ядре; низовой упорной призме; фильтрационным режимом в основании и ядре плотины, деформациями скального основания плотины; цементационной потерной (осадки секций, раскрытие швов и трещин, напряжения в арматуре и бетоне); состоянием грунта ядра в период эксплуатации плотины; образованием трещин в ядре плотины и сейсмическими воздействиями на плотину [7-10].

В основном КИА и У в рассматриваемом сооружении установлены на измерительных створах и шести основных ярусах по высоте. Приборы для наблюдений за фильтрацией в основании плотины, приурочены к характерным геологическим и топографическим условиям основания, а также ленточные и вертикальные дренажи.

Наблюдения за напряжениями производятся в створе, расположенном в середине горизонтальной левобережной поймы, где соблюдаются условия плоской задачи. Измерение напряжений [3] в суглинистом ядре производится жесткими датчиками на четырех горизонтах. Датчики устанавливаются в сечении, перпендикулярном продольной оси плотины, плоскими розетками (по четыре прибора в розетке) для фиксации вертикальных и горизонтальных напряжений и напряжений по наклонным (под углом 45° к горизонту) площадкам.

Наблюдения за поровым давлением в суглинистом ядре и на его контакте с основанием проводятся с помощью более 100 пьезодинамометров. По мере завершения процесса консолидации ядра эти приборы используются для наблюдений за фильтрацией.

Анализу данных натурных наблюдений за фильтрацией, поровым давлением, осадками и смещением в высоких грунтовых плотинах с ядром посвящены работы известных ученых; Анискина Н.А., Леднева М.Н., Л.Н. Рассказова[11,12], Денисова Г.В. и др.. В качестве примера взяты грунтовые плотины –Нурекской, Чарвакской, Гоцалинской, Зейской ГЭС и др.,

Для прогнозирования состояния грунтовой плотины при основных нагрузках произведено сопоставление результатов численного расчета напряженного состояния [13-15] с данными натурных наблюдений.

**Методология.** В качестве численной упругой модели сооружения рассматривается плоско-деформируемая модель (поперечное сечение) грунтовой плотины, находящаяся на упругом основании. При этом учитываются конструктивные особенности сооружения, а также кусочно-неоднородные физико-механические характеристики грунтов .

Математическая постановка задачи основана на вариационном принципе Лагранжа, согласно которому [15-20]:

$$\delta A = \delta A_{\sigma} + \delta A_{P} + \delta A_{P} = -\int_{V} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV + \int_{V} \rho g \delta v dV + \int_{S} \gamma h \delta v dS = 0 \qquad (1)$$

где $V=V_1+V_2+V_3$. $V_1$, $V_3$–объём верхней и нижней упорной призмы; $V_2$–объём центрального ядра (рис.1). Интегралы представляют работу сил упругости-первый интеграл, массовых сил (собственный вес)-второй и гидростатического давления на поверхность верхового откоса-третий.

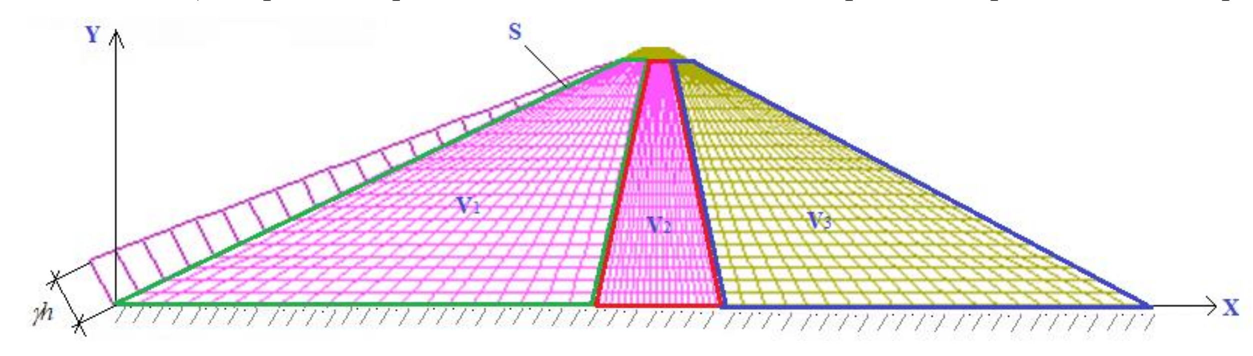



Рис.1. Расчетная схема

Для решения задачи по исследованию напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтовой плотины при нагрузках применим численный метод (метод конечных элементов (МКЭ)), так как

практически невозможно получить аналитическое решение для кусочно-неоднородного сооружения, имеющего сложную геометрическую форму. [21-26]

Согласно МКЭ, тело делится на конечное число элементов. Элементы объединяются через узловые точки. В основу МКЭ положены относительно простые математические модели, которые приводят к большим арифметическим вычислениям. Принятая математическая модель должна достаточно точно описывать реальные свойства объектов.

Граничные условия на поверхности верхового откоса имеют следующий вид

$$p_x = \sigma_{xx} l_1 + \tau_{xy} m_1, \quad p_y = \tau_{xy} l_1 + \sigma_{yy} m_1. \qquad (2)$$

где $p_x$, $p_y$ –компоненты напряжений от гидростатического давления на поверхности верхового откоса, равные нулю при отсутствии гидростатического давления; $l_1$, $m_1$, – направляющие косинусы площади верхового откоса.

Граничные условия на гребне плотины:

$$\tau_{xy} = 0, \quad \sigma_{yy} = 0. \qquad (3)$$

Граничные условия на поверхности низового откоса

$$\sigma_{xx} l_2 + \tau_{xy} m_2 = 0, \quad \tau_{xy} l_2 + \sigma_{yy} m_2 = 0. \qquad (4)$$

где $l_2$, $m_2$, – направляющие косинусы площади низового откоса.

В отсутствии гидростатики поверхность боковых откосов и гребень плотины будут свободны от нагрузок. Тогда статические граничные условия на этих поверхностях примут [27-30]

$$\sigma_{ij} n_j = 0 \qquad (5)$$

где n – вектор нормали к поверхности.

Учет гидростатики на поверхности верхового откоса плотины, находящейся в однородной несжимаемой жидкости водохранилища, сводится к заданию на поверхности откоса давления, линейно возрастающего с глубиной

$$p = \rho g z \qquad (6)$$

где z – глубина, отсчитываемая от свободной поверхности воды; g – ускорение свободного падения.

Граничные условия на нижней границе основания – жесткие, что выражается в отсутствии здесь горизонтальных и вертикальных возможных перемещений:

$$y = 0 : \delta u\rfloor_{y=0} = 0; \delta v\rfloor_{y=0} = 0 \quad (7)$$

С учетом разработанной методики и алгоритма решения, задача сводится к решению системы линейных уравнений, относительно перемещений

$$[K]\{u\}=\{P\}, \quad (8)$$

где [K]- матрица жесткости для всей модели, формирующаяся из матриц жесткости отдельных элементов; {u}- искомый вектор узловых перемещений; {P}-вектор нагрузок (силы гравитации, гидростатика).

В математическую постановку задачи входит соотношения Коши и закон Гука [31-35]. Разработанный алгоритм решения такого типа задач был протестирован путем сопоставления с решениями других авторов [32-35].

**Основная часть.** При расчетах грунтовой плотины рассматривается створ, где имеется КИА и У (данные АО Гидропроекта) высота – 131м; коэффициенты заложения откосов 2,2, ядра – 0,2. Физико-механические параметры грунта призм E=60МПа, объемный вес $\gamma_{сух}$=1950 кг/м$^3$, $\gamma_{нас}$=2230 кг/м$^3$; коэффициент Пуассона $\mu$=0,3. Параметры грунта ядра: E=30 МПа, объемный вес $\gamma_{сух}$=1760 кг/м$^3$, $\gamma_{нас}$=2110 кг/м$^3$, коэффициент Пуассона $\mu$=0,3, коэффициенты наклона 0,2.

Результатами решения поставленной задачи являются: поле распределения смещений (горизонтальных и вертикальных), нормальных напряжений (горизонтальных, вертикальных, касательных) и их сопоставление с данными многолетних натурных наблюдений. В данном варианте для рассматриваемой грунтовой плотины Чарвакской ГЭС эти материалы были предоставлены АО Гидропроектом. Полученные в ходе решения задачи- горизонтальные и вертикальные перемещения плотины указывают, что сооружение под собственным весом сплющивается (гребень опускается, откосы выпучиваются), об этом свидетельствуют значительные вертикальные перемещения гребня и противоположные знаки горизонтальных перемещений верхней и нижней призм сооружения. В основном, такая деформация (горизонтальное растяжение) наблюдается в верхней трети сооружения, что может привести здесь к потере прочности. [35-43]

Возникающее в ядре грунтовой плотины поровое давление рассчитывается различными методами, а также с учетом и без учета консолидации грунта. При расчете был рассмотрен створ плотины, где во время строительства установлены КИА – грунтодинамометры (ГД), пьезодинамометры (ПД).

Расчетные компоненты напряженного состояния – нормальные горизонтальные, вертикальные напряжения в теле плотины, находящейся под собственным весом и гидростатики при наполнении 125м, показаны на рис.3,4 показания ГД, ПД- поровое давление от времени эксплуатации. [1-43]

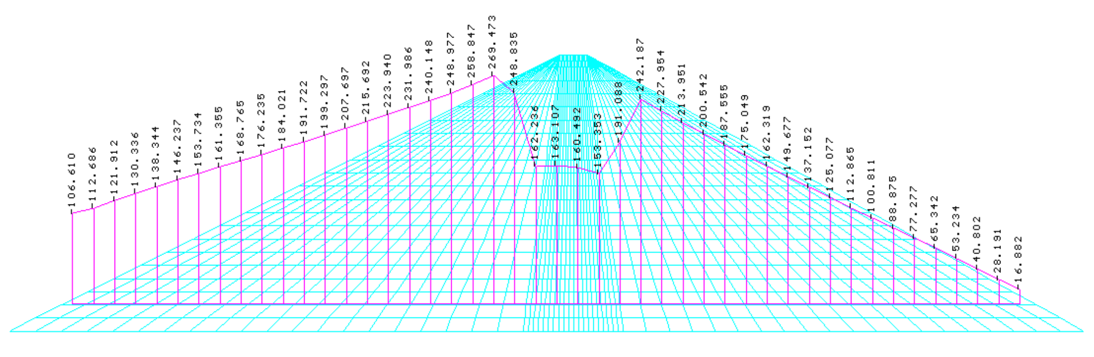



Рис.2. Расчетные эпюры вертикальных напряжений $\sigma_y$ (т/м$^2$) на отметке уровня воды 780.0 м

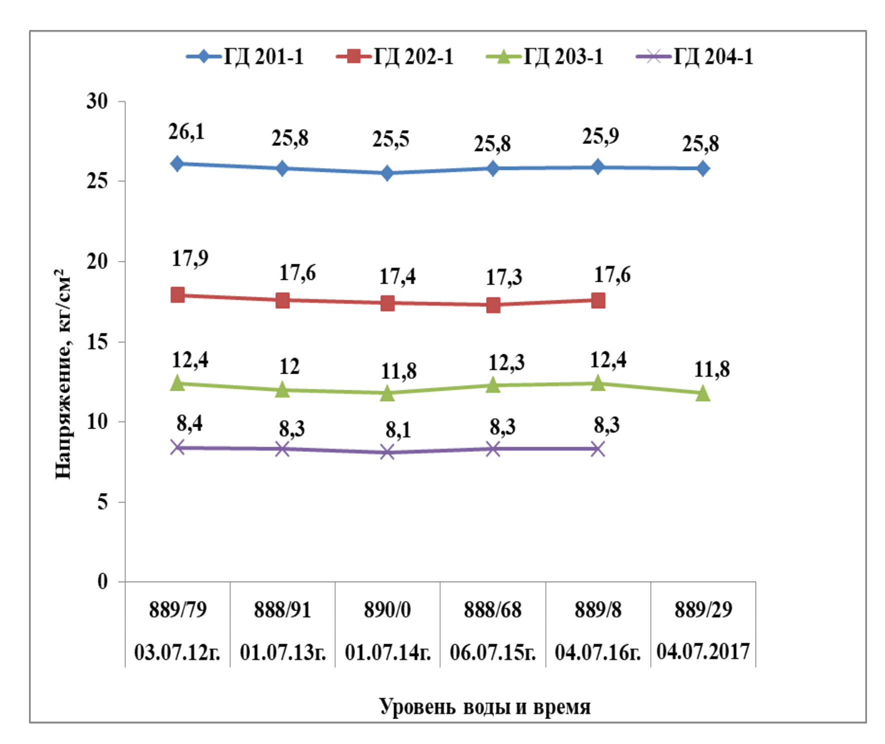



Рис.3. Данные натурных наблюдений вертикальных напряжений $\sigma_y$ (т/м$^2$) на отметке уровня воды 780.0 м в зависимости от срока эксплуатации

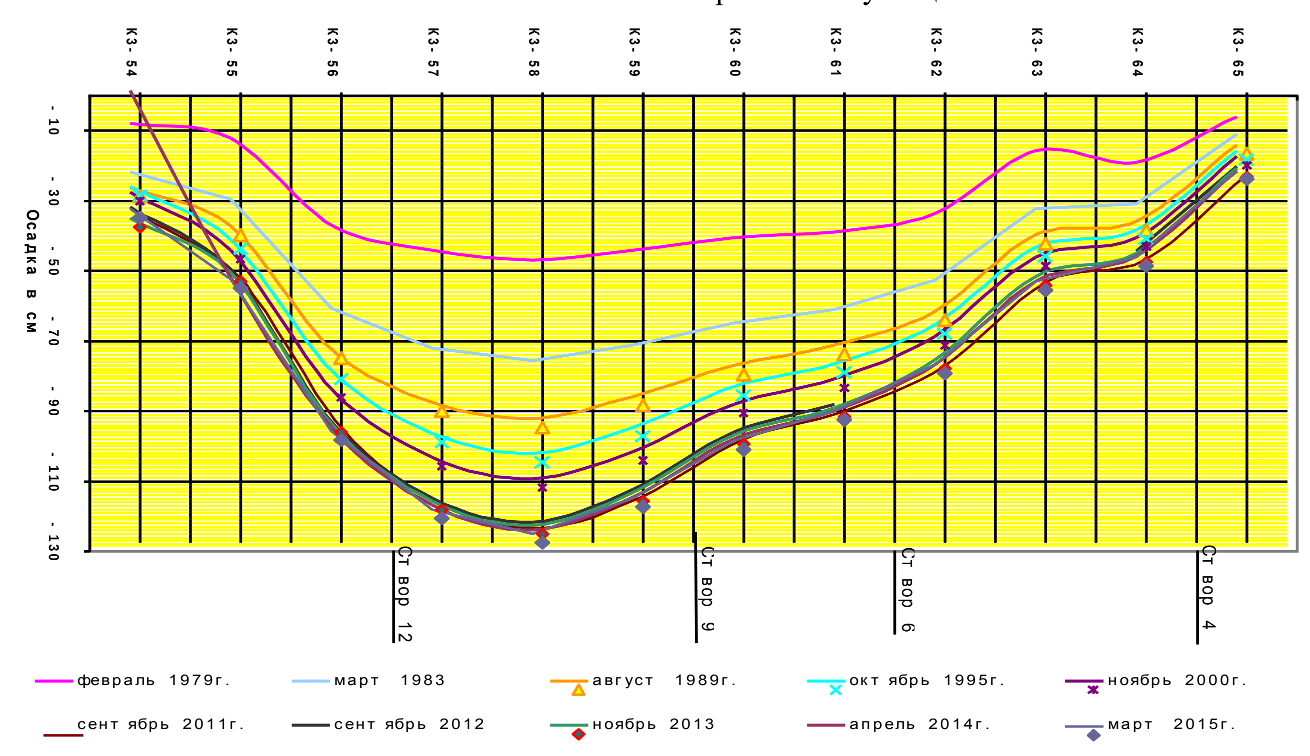



Рис.4 Осадка бермы верховой упорной призмы плотины на отметке 872,0 м в эксплуатационный период

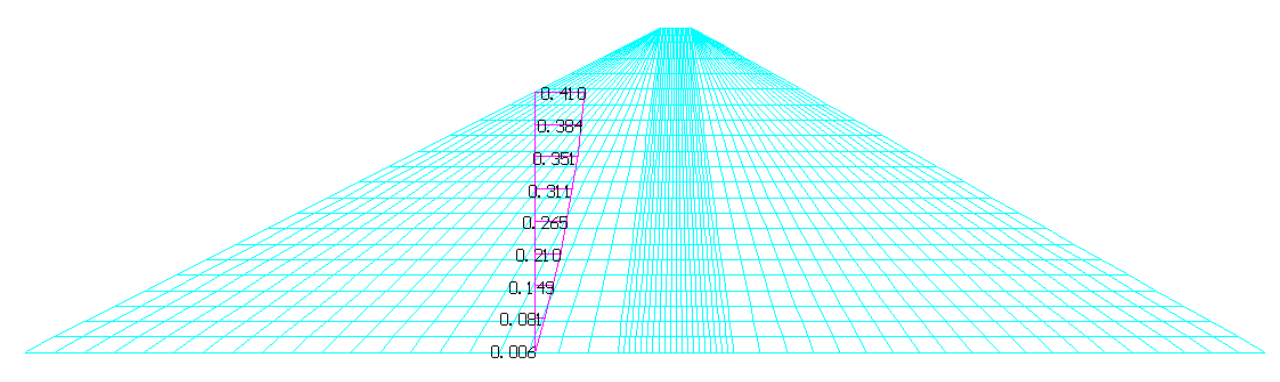



Рис.5 Эпюры вертикальных перемещений (м) (осадки) плотины при учете сил гравитации и гидростатики (отметка 872,0).

**Выводы.** Сопоставление результатов вычислений вертикальных перемещений с натурными данными показывает разницу 8% для створа 6 и 9% для 9 (рис. 4, 5).

Расчетные осадки грунтовой плотины с учетом гидростатики после окончания строительства указаны на рис. 5 (7 февраля 1979 г.). Сравнение результатов вычислений с данными натурных наблюдений по определению осадок плотины при наполнении водохранилища указало их полное совпадение, что доказывает достоверность разработанной программы расчета и полную согласованность их характера с известным решением проф.Гольдина А.С.

Сопоставление численных результатов и натурных данных позволили сделать выводы;

- понижение порового давления по времени отмечается на отметке 780,0 м., а также в основании вблизи потерны со стороны нижнего бьефа;
- на отметке 817,0м понижение порового давления ощущается со стороны нижнего бьефа;
- на отметке 853,0 м со стороны нижнего бьефа поровое давление не изменяется во времени, также как и на отметке 858,0м.
- увеличение во времени порового давления ощущается в основании плотины вблизи ядра со стороны верхнего бьефа и на отметках 817,0м, 853,0м также со стороны верхнего бьефа.

Анализ данных натурных наблюдений и их сопоставление с численными результатами доказывает, что остаточное поровое давление присутствует на этих отметках и образует ядро порового давления, а процесс консолидации происходит на отметке 780,0м., которая, как заметно на рис.3, находится практически в основании плотины, но выше основания ядра. Следовательно, на этой отметке происходит максимальное давление от ядра плотины, упорных призм и, соответственно напора в водохранилище.

Разработанная методика и алгоритмы решения статических задач по определению напряженно-деформированного состояния для грунтовой плотины позволяет определить наиболее уязвимые участки с точки зрения возможной потерей прочности, что влияет на ее безопасность.

В глинистом ядре каменно-земляной плотины Чарвакской ГЭС рассеивание порового давления происходит очень медленно, что может способствовать формированию в теле плотины неблагоприятного напряженно-деформированного состояния, изменяющегося по времени. По мере рассеивания порового давления могут ухудшаться условия фильтрации воды в отдельных зонах ядра и на контакте ядра с основанием плотины.

**Volume: 03 Issue: 06 | Jun 2022**, ISSN: 2660-5317

**Литература**

1. Arabboevna A. M., Shavkat o‘g‘li Y. S. The Use of Geoinformation Systems in the Study of the Land Fund of Household and Dekhkan Farms //Texas Journal of Multidisciplinary Studies. – 2022. – Т. 8. – С. 163-164.
2. Хакимова К. Р., Абдукадирова М. А., Абдухалилов Б. К. РАЗРАБОТКА ТЕМАТИЧЕСКИХ СЛОЕВ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ ГИС-ПРОГРАММ КАРТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО АТЛАСА //Актуальная наука. – 2019. – №. 11. – С. 39-43.
3. Makhmud K., Khasan M. Horizontal Survey of Crane Paths //Middle European Scientific Bulletin. – 2021. – Т. 18. – С. 410-417.
4. Madaminovich A. B. The use of gis technology to create electronic environmental maps //ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal. – 2020. – Т. 10. – №. 5. – С. 438-440.
5. Kh T. K. et al. Strength Evaluation of the Charvak Earth Dam in a Plane Formulation //Middle European Scientific Bulletin. – 2021. – Т. 18. – С. 424-434.
6. Сорокин А. Г., Каюмов О. А. Динамическая модель трансформации стока р. Амударьи в среднем течении //Водные ресурсы Центральной Азии (Материалы научно-практической конференции, посвященной 10-летию МКВК). Алтаты. – 2002. – С. 154-158.
7. Khakimova K. R., Ahmedov B. M., Qosimov M. Structure and content of the fergana valley ecological atlas //ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal. – 2020. – Т. 10. – №. 5. – С. 456-459.
8. Abduvaxobovich A. A. Methods of Improving Physical and Mechanical Properties of Light Concrete on the Basis of Chemical Additives //Texas Journal of Multidisciplinary Studies. – 2022. – Т. 8. – С. 165-167.
9. Marupov A. A., Ahmedov B. M. General Characteristics of Zones with Special Conditions of use of the Territory //Middle European Scientific Bulletin. – 2021. – Т. 18. – С. 446-451.
10. Hamidov A. A., Shermatova Z. Changes in the cities of the fergana valley and its surroundings under the influence of anthropogenic factors //ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal. – 2021. – Т. 11. – №. 6. – С. 736-739.
11. Shavkat o‘g‘li Y. S., Zuxriddinovna M. S., Shuxratbek qiziOlimova D. RAQAMLI TASVIRLARNI QAYTA ISHLASH VA QAYTA ISHLASHNI TOIFALASHTIRISH //INNOVATION IN THE MODERN EDUCATION SYSTEM. – 2022. – Т. 2. – №. 18. – С. 425-429.
12. Хакимова К. Р., Абдукадирова М. А., Абдухалилов Б. К. РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ В КАРТОГРАФИЧЕСКОМ ОПИСАНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ //Актуальная наука. – 2019. – №. 11. – С. 34-38.
13. Kasimov M., Habibullaev E., Kosimov L., (2020). Determination of the chimney roll, An International Multidisciplinary Research Journal, 10(6), Pp 1313-1318.
14. Каюмов О., Кенда Д. Я., Манопов Х. В. ВІДНОВЛЕННЯ ТА ЗБІЛЬШЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ВОДОЗАБІРНИХ СВЕРДЛОВИН //ΛΌГОΣ. МИСТЕЦТВО НАУКОВОЇ ДУМКИ. – 2019. – №. 8. – С. 47-50.
15. Marupov A., Axmedov B. General characteristics of zones with special conditions for using the territory of the city of Fergana //Збірник наукових праць ΛΌГОΣ. – 2020. – С. 7-10.

16. Salyamova K. D., Turdiqulov X. X. Analysis of stability of ground dams under seismic loads //Scientific-technical journal. – 2020. – Т. 3. – №. 1. – С. 37-41.
17. Хакимов К. Ж. и др. ТЕХНОГЕННЫЕ ОТХОДЫ-ПЕРСПЕКТИВНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИИ УЗБЕКИСТАНА В ОЦЕНКЕ ОТВАЛЬНЫХ ХВОСТОВ ФИЛЬТРАЦИИ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД //Universum: технические науки. – 2020. – №. 12-1 (81). – С. 54-59.
18. Mamanazarovna E. M., Abbosxonovich M. A. Analysis of Agricultural Soils Designation of Different Linear Protected Zones using GIS Technology //CENTRAL ASIAN JOURNAL OF THEORETICAL & APPLIED SCIENCES. – 2021. – Т. 2. – №. 11. – С. 188-192.
19. Hamidov A. A., Najmiddinova G. Geoecological fundamentals of nature protection and rational use of natural resources in the fergana valley //Asian Journal Of Multidimensional Research. – 2021. – Т. 10. – №. 6. – С. 260-263.
20. Shavkat o‘g‘li Y. S. et al. QISHLOQ XO ‘JALIK KARTALARINI YARATISHDAGI GEODEZIK ISHLAR //THEORY AND ANALYTICAL ASPECTS OF RECENT RESEARCH. – 2022. – Т. 1. – №. 5. – С. 460-466.
21. Abdukadirova M. A. The Role of Builder and Building in the Development of the Country Is Invaluable //The American Journal of Interdisciplinary Innovations Research. – 2021. – Т. 3. – №. 05. – С. 81-84.
22. Musinovich S. M., Khaitmuratovich K. I., Raximovna K. K. Innovative Irrigation Technology //Middle European Scientific Bulletin. – 2021. – Т. 18. – С. 514-520.
23. Manopov X. V., Kasimov M. KARTALARNING RAQAMLI MODELINI YARATISH //INTERNATIONAL CONFERENCES ON LEARNING AND TEACHING. – 2022. – Т. 1. – №. 8. – С. 252-258.
24. Marupov A. A., Ahmedov B. M. General Characteristics of Zones with Special Conditions of use of the Territory //Middle European Scientific Bulletin. – 2021. – Т. 18. – С. 446-451.
25. Salyamova K. D. et al. The Stress State Of A Soil Dam Under Dynamic Action, Taking Into Account The Dissipative Properties Of The Soil //International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT), http://ijpsat. ijsht-journals. org. – 2021. – Т. 25. – №. 2. – С. 51-62.
26. Xayitmurodovich K. I., Abbosxonovich M. A., Qizi M. M. D. Estimation Of Irrigated Soils Of Fergana Region (On The Example Of Dangara District) //The American Journal of Agriculture and Biomedical Engineering. – 2021. – Т. 3. – №. 05. – С. 8-12.
27. Hamidov A., Khalilov K. LAND LEGISLATION AND SOIL PROTECTION IN THE FERGHANA VALLEY //Конференции. – 2021.
28. Berdaliyeva Y. X. et al. Gis Dasturlari Yordamida Geografik Asos Qatlamlarini Joylashtirish Va Ularni Boshqarish //International Conferences On Learning And Teaching. – 2022. – Т. 1. – №. 6. – С. 312-314.
29. Abduqodirova M. A., qizi Mirzakarimova G. M. GIS TEXNOLOGIYASI YORDAMIDA KARTANING GEOGRAFIK ASOSINI TUZISH, UNI TAHRIR QILISH //INTERNATIONAL CONFERENCES ON LEARNING AND TEACHING. – 2022. – Т. 1. – №. 6. – С. 309-311.
30. Musinovich S. M., Khaitmuratovich K. I., Raximovna K. K. Methods of Irrigation of Gardens and Vineyards in Salty Land //Middle European Scientific Bulletin. – 2021. – Т. 18. – С. 521-525.

31. Maksudovich M. I., Bakhromalievich E. D., Valiyevich M. K. Order And Methodology For Determining Administrative-Territorial Borders Based On Digital Technologies //The American Journal of Engineering and Technology. – 2021. – Т. 3. – №. 03. – С. 49-57.
32. Abduraufovich Q. O., Valiyevich M. X., Dilshodbeko'g'li H. E. Some issues of re-utilization of casing strings, unused water intake wells (for example, some countries in the south-western sahel) //ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal. – 2020. – Т. 10. – №. 6. – С. 1568-1574.
33. Salyamova K. D., Turdikulov K. K. Stress state of an earth dam under main loads considering data from field observations //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Т. 1926. – №. 1. – С. 012004.
34. Numanovich A. I., Abbosxonovich M. A. The analysis of lands in security zones of high-voltage power lines (power line) on the example of the Fergana region //EPRA International Journal of Multidisciplinary Research (IJMR). – 2020. – Т. 2. – С. 25-30.
35. Ogli Y. S. S., O‘G‘Li A. P. A. KOSMIK MA'LUMOTLAR YORDAMIDA YER TUZISH LOYIHA ISHLARINI OLIB BORISH //Ta’lim fidoyilari. – 2022. – Т. 25. – №. 5. – С. 23-25.
36. Abdukadirova M. A., qizi Mirzakarimova G. M. The use of Geo Information System in the Establishment of Land Balance //Middle European Scientific Bulletin. – 2021. – Т. 18. – С. 441-445.
37. Khakimova K. R., Holmatova D. B., Abdusalomov A. A. Basics of atlas mapping optimization in the ferghana region //ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal. – 2020. – Т. 10. – №. 5. – С. 613-617.
38. Yangiev A. et al. Dynamics of an earth dam with account for rheological properties of soil under dynamic effect //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2020. – Т. 869. – №. 7. – С. 072005.
39. Xakimova K. R., Marupov A. A., Mirzakarimova G. M. Maintaining Cadastral Valuation for the Effective Use of Agricultural Lands of the Fergana Region. ijarset. com “International Journal Of Advanced Research In Science, Engineering And Technology” //ORCID: 0000-0002-5120-4359. – 2019. – С. 6-10.
40. Arabboyevna A. M. et al. In orthophotoplane technology photomod mosaic module //International Journal of Discourse on Innovation, Integration And Education. – 2020. – Т. 1. – №. 4. – С. 93-97.
41. Абдукадирова М. А., ўғли Ёкубов Ш. Ш. ЭЛЕКТРОН РАҚАМЛИ ХАРИТАЛАРДАГИ КОНТУРЛАР ЧЕГАРАСИ УЛАРНИ МАЙДОН (ПОЛИГОН) КЎРИНИШДА ЧИЗИШНИНГ ARCGIS ДАСТУРИЙ ТАЬМИНОТИ ОРҚАЛИ АВТОМАТЛАШГАН УСУЛИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ //INTERNATIONAL CONFERENCES ON LEARNING AND TEACHING. – 2022. – Т. 1. – №. 8. – С. 133-136.
42. Ахмедов Б. М., ўғли Ёкубов Ш. Ш. КАДАСТР СЁМКАСИНИ БАЖАРИШ УЧУН ТОПОГРАФИК АСОСЛАР //INTERNATIONAL CONFERENCES ON LEARNING AND TEACHING. – 2022. – Т. 1. – №. 8. – С. 287-291.
43. Abduraxmonov A. A. et al. DAVLAT YER KADASTRIDA GIS TEXNALOGIYALARIDAN FOYDALANISH //INTERNATIONAL CONFERENCES ON LEARNING AND TEACHING. - 2022. - Т. 1. - №. 8. - С. 228-233.